

# Desenvolvimento de um Simulador Virtual para Operação de uma Grua

Luís Carlos Bruno

ESTIG, Beja/Portugal - Rua Afonso III, 1 - 7800-050 Beja - [lbruno@estig.ipbeja.pt](mailto:lbruno@estig.ipbeja.pt)

## Introdução

A aplicação e uso das tecnologias relacionadas com os ambientes virtuais pode elevar consideravelmente a qualidade na prestação de determinados tipos de serviços/funções, desde que devidamente enquadradas, pelo que é importante que elas possam ser disseminadas em diferentes tipos de actividades. O desenvolvimento e o uso destas tecnologias têm tido, no nosso país, um nível de penetração bastante baixo e existem muitas actividades económicas (com destaque para a formação profissional) que podem ser objecto da sua utilização. O incremento no desenvolvimento destes sistemas, no mercado nacional, pode ser feito, como neste caso, através da realização de protótipos funcionais que possam responder eficazmente a tarefas específicas, conquistando assim, gradualmente, a confiança de clientes/parceiros. Se estes modelos se revelarem eficazes e demonstrarem aumentar a rentabilidade das respectivas actividades económicas, então poderá haver uma maior apetência para a produção de sistemas mais complexos e abrangentes. Foi com base neste princípio que foi desenvolvido o simulador objecto de descrição deste artigo, desenvolvendo-se para tal um sistema evolutivo, daqui em diante denominado **SimGrua**.

É importante referir que o desenvolvimento deste tipo de sistemas envolve várias áreas de investigação e desenvolvimento, próprias e afins, como são o caso dos factores humanos, interface pessoa-máquina, ergonomia, impacto social, hardware e software [1]. É determinante para o desenvolvimento deste tipo de aplicações que existam equipas pluri-disciplinares que dominem, entre outras, várias áreas tecnológicas como sejam: dispositivos de entrada / saída não convencionais, projecto de interfaces, simulação em tempo real, modelação tridimensional, sistemas paralelos e/ou distribuídos, programação e avaliação de sistemas.

Este projecto nasceu da parceria estabelecida com um Centro Tecnológico ligado à promoção, assessoria técnica e formação profissional, na área da extracção e transformação de rochas ornamentais e industriais, com especial incidência na área dos mármore. Com o desenvolvimento deste projecto, pretendeu-se demonstrar que é possível colocar estas tecnologias ao serviço de entidades ou pessoas que possam, efectivamente, daí recolher vantagens efectivas para as suas actividades, e simultaneamente promover o desenvolvimento de conhecimentos e competências nesta área tecnológica.

Assim, três objectivos gerais nortearam o desenvolvimento do SimGrua:

- Demonstrar que é possível com tecnologias de baixo custo, desenvolver simuladores baseados em ambientes virtuais que possam ser utilizados de forma eficaz, no suporte de certas tarefas, com destaque na indústria mineira da extracção de mármore;
- Identificar ou desenvolver metodologias adequadas ao desenvolvimento deste tipo de projectos nas suas diferentes fases e tarefas;
- Investigar e explorar tecnologias de suporte aos ambientes virtuais, tanto ao nível de software como de hardware.

## DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A formação profissional dos operadores de guias das pedreiras de mármore da zona denominada por triângulo dos mármore (Estremoz, Borba e Vila Viçosa) no Alentejo, é

ministrada com base numa componente teórica e numa componente eminentemente prática, que requer a operação daqueles equipamentos em contexto de trabalho. Neste momento, a formação prática baseia-se exclusivamente na operação com gruas reais, em que o formando, com a ajuda do formador, aprende a realizar as tarefas próprias da função de operador de grua.

No entanto, esta formação prática não é claramente a mais segura para os seus participantes e equipamentos, podendo ser complementada e melhorada, com toda a certeza, através da utilização de um simulador baseado num ambiente virtual.

A grua é um equipamento de grandes dimensões e bastante pesado, dos mais caros equipamentos da área de extracção e em que os seus componentes móveis podem aceder a diferentes áreas da pedreira e ocupar percentagens grandes da área total da pedreira. Um erro de operação grave, com este equipamento, pode danificar a estrutura da grua, parcial ou totalmente e colocar, desta forma, em causa, a integridade física de pessoas e bens que estejam na sua área de influência (pedreira). Assim, desenvolver a formação inicial neste contexto pode provocar situações de falta de segurança para pessoas e sistemas, com os respectivos custos associados, podendo assim constituir um factor inibidor da aprendizagem dos formandos e um elemento limitador do método de ensino dos formadores.



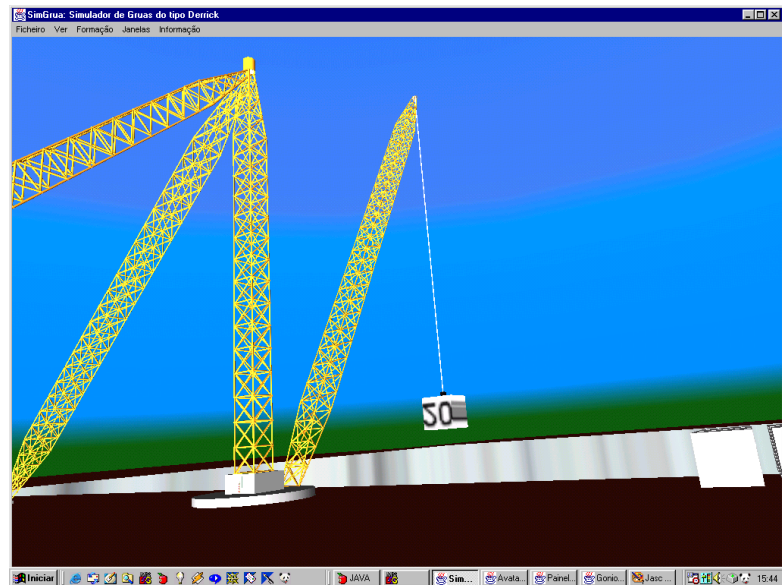
**Figura 1** – Ambiente real do espaço físico da pedreira.

A utilização destas tecnologias nesta área de formação profissional pode também elevar bastante a sua eficácia por diversas razões:

- O formando pode simular todo o tipo de tarefas possíveis e dentro de cada uma delas pode executar todas as acções que pretender, que não causa quaisquer danos ao sistema;
- O formando pode desenvolver a sua aprendizagem ao seu próprio ritmo, sem necessitar da presença de formador e sem as limitações de estar em contexto de trabalho na pedreira;
- O sistema pode detectar erros de operação e avisar o formando com informação detalhada sobre as suas causas, e mostrar as consequências dessas acções;
- As sessões de formação podem ser registadas (visualização, sonorização e dados de operação) para posteriormente serem analisadas em conjunto pelo formando e formador, de forma a serem corrigidos erros;
- O sistema pode efectuar sessões de avaliação formais e informais para o formando, com base em diferentes níveis de dificuldade, previamente definidos e parametrizados no sistema, pelo formador.

O sistema real, que se pretende reproduzir virtualmente, é composto por um espaço físico envolvente, a pedreira, que possui no seu interior um conjunto de objectos físicos, estáticos e dinâmicos, e pessoas que desempenham determinadas tarefas. Neste sistema assumem importância fulcral a grua e as pessoas que directa ou indirectamente a manipulam. Assim, neste trabalho são exploradas, em relação à grua, as seguintes vertentes: estrutura física, capacidades funcionais e respostas comportamentais aos estímulos provocados pela acção dos seus

operadores e/ou de outros objectos. As tarefas que este sistema tenta reproduzir, são as realizadas pelo operador da grua e por um ajudante, que normalmente posicionado no fundo da pedreira, auxilia a manobra da elevação de cargas. Assim, é dado especial destaque aos tipos de interacção que o operador estabelece com: o ambiente envolvente, a grua e os outros trabalhadores no espaço da pedreira. Os tipos de interacção estudados entre o utilizador e o sistema estão relacionados com as tarefas de navegação, selecção, manipulação e controlo do sistema [2].



**Figura 2** – Vista do modelo virtual do espaço físico da pedreira

Desta forma, para a tarefa de navegação foi estudado qual o tipo de movimentação e orientação que um operador de grua pode executar, de forma a ser escolhida uma técnica de navegação eficaz e, conseqüentemente, a escolha do interface físico adequado, que permita realizar tal acção no ambiente virtual.

A tarefa de selecção permite que um operador possa seleccionar determinados objectos do ambiente virtual. No contexto da pedreira, o operador pode aceder a determinados objectos para sobre eles exercer determinadas acções, como por exemplo, após a selecção de um bloco de pedra a elevar, presente no fundo da pedreira, alterar a sua posição e/ou orientação. Para essa tarefa é então necessário utilizar técnicas e metáforas de interacção que possibilitem que a mesma se realize eficazmente. Associada à tarefa de selecção está intimamente ligada a tarefa de manipulação, que permite alterar o estado de alguns atributos do objecto previamente seleccionado, como se mostrou no exemplo anterior.

Um grande desafio que se coloca na construção de ambientes virtuais é a exploração e utilização de uma panóplia de tipos de tecnologias de hardware e software, e do recurso a várias metodologias e técnicas, durante as várias fases do projecto. Assim, foi projectado utilizar diferentes dispositivos periféricos, de entrada e saída, uns convencionais (rato, teclado, monitor) e outros não convencionais (detector de posição, luva de dados e botoneira). A utilização de cada um deles tenta proporcionar, na execução de cada tarefa, as melhores condições de interacção dos utilizadores com o sistema. Por exemplo, no processo de navegação no ambiente virtual, pode-se utilizar um dos seguintes dispositivos para efectuar essa tarefa: teclado, rato e detector de posição/orientação (*tracker*). A escolha do dispositivo baseou-se no estudo da técnica de interacção mais adequada para a tarefa em causa, e nas condições gerais de interacção do utilizador com o sistema.

No desenvolvimento de um ambiente virtual existem algumas características importantes do sistema, de forma a que o utilizador se sinta envolvido ao nível sensorial e perceptual. Assim, para além da obrigatoriedade dos dispositivos de interacção de entrada e saída utilizados promoverem um envolvimento mais natural do operador com o sistema, é importante que seja fornecido o maior realismo possível nas suas componentes visuais, auditivas e tácteis. No entanto, o valor deste realismo não pode colocar em causa o desempenho de sistemas de baixo custo. Outro elemento importante é o tempo de resposta que o sistema fornece ao utilizador na execução de determinadas operações. Deverá o sistema, tanto em termos dos sinais sensoriais



gerados, como na gestão de determinados comportamentos de objectos, responder com tempos de espera suficientes pequenos, de forma a que o utilizador não perca o seu envolvimento com o ambiente, com a consequente perda de eficácia na utilização de um simulador.

No ambiente real existe uma relação colaborativa entre o operador da grua e outros auxiliares de manobra, que lhe fornecem informação sonora e gestual, sobre a melhor forma de se efectuar uma determinada operação, para assim se evitem erros críticos. O SimGrua é desenvolvido como um sistema multi-utilizador, que promove a comunicação entre vários utilizadores e que permite aos mesmos, embora de pontos de vista diferentes, verem o mesmo estado do mundo do ambiente virtual.

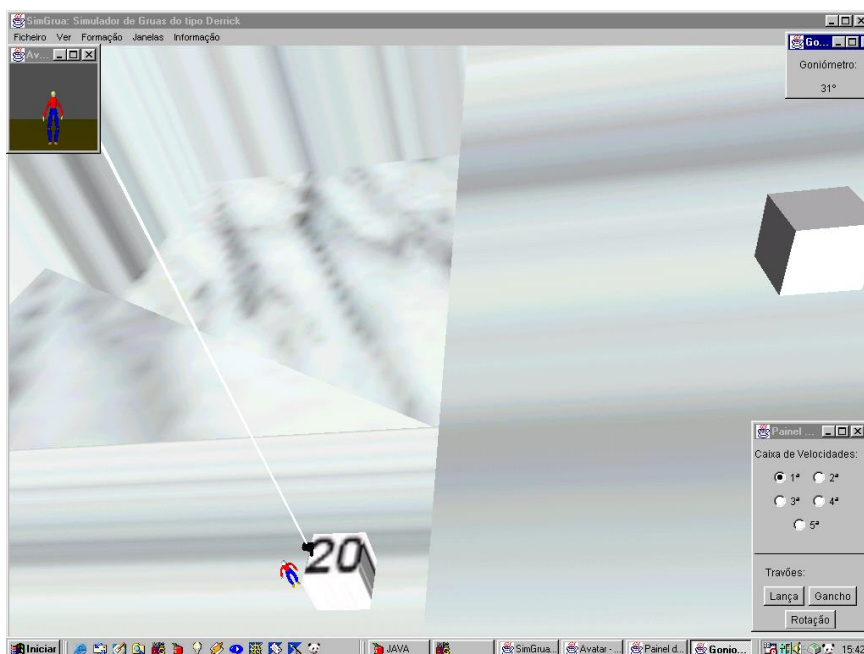
Para que aquele requisito seja possível de implementar é necessário utilizar paradigmas de programação distribuída que permitem que o estado dos objectos remotos, seja igual aos dos correspondentes

objectos locais de um mundo virtual. A implementação do sistema multi-utilizador distribuído, teve como suporte físico a tecnologia de redes locais baseada na pilha de protocolos TCP/IP. A programação distribuída foi executada com recurso à API (*Application Programming Interface*) RMI (*Remote Method Invocation*), parte integrante do núcleo central de pacotes de classes da linguagem de programação Java.

O desenvolvimento deste tipo de projectos, cujo objecto é a criação de ambientes virtuais, pelas suas características próprias, requer uma metodologia do processo de desenvolvimento específica e adequada, composta por um conjunto de fases, bem identificadas inicialmente, e que sejam garantia que o produto final se adequa às suas finalidades. Foi objecto de estudo deste projecto a escolha de uma metodologia que assegurasse qualidade no processo de desenvolvimento e, consequentemente, no produto final.

Assim, foi efectuada uma selecção da metodologia do processo de desenvolvimento do sistema com base em dois modelos diferentes: o modelo de cascata (*waterfall model*) e o modelo evolutivo por prototipagem (*prototyping model*). Com base num determinado conjunto de critérios, verificou-se que o segundo modelo é o que melhor se adequa ao processo de desenvolvimento deste sistema, tendo sido inicialmente especificados os vários protótipos ou versões intermédias, identificando-se claramente o seu conteúdo funcional e os objectivos que os mesmos pretendiam atingir.

Com base na escolha da metodologia, composta por um conjunto de protótipos evolutivos, verificou-se a necessidade de possuir um motor de simulação, que permitisse suportar a visualização tridimensional, a gestão de comportamentos dos utilizadores e de objectos, a gestão de diferentes dispositivos físicos de entrada/saída e a colaboração multi-utilizador. Para tornar o processo da apresentação dos protótipos mais rápido, foi utilizado um motor de visualização, já parcialmente desenvolvido pelo grupo de trabalho “Java3D & VRML”, da entidade Web3d Consortium. O motor de visualização desenvolvido na linguagem de



**Figura 3** – Operação da grua com a colaboração do ajudante de manobra posicionado no fundo da pedreira

programação Java, utiliza a API Java3D como suporte para criação do grafo da cena, da operação de *rendering*, da gestão de entradas e saídas de dados e da gestão de comportamentos entre objectos do sistema. De referir, que o motor de visualização foi extendido ao ritmo do desenvolvimento das versões prototipadas intermédias.

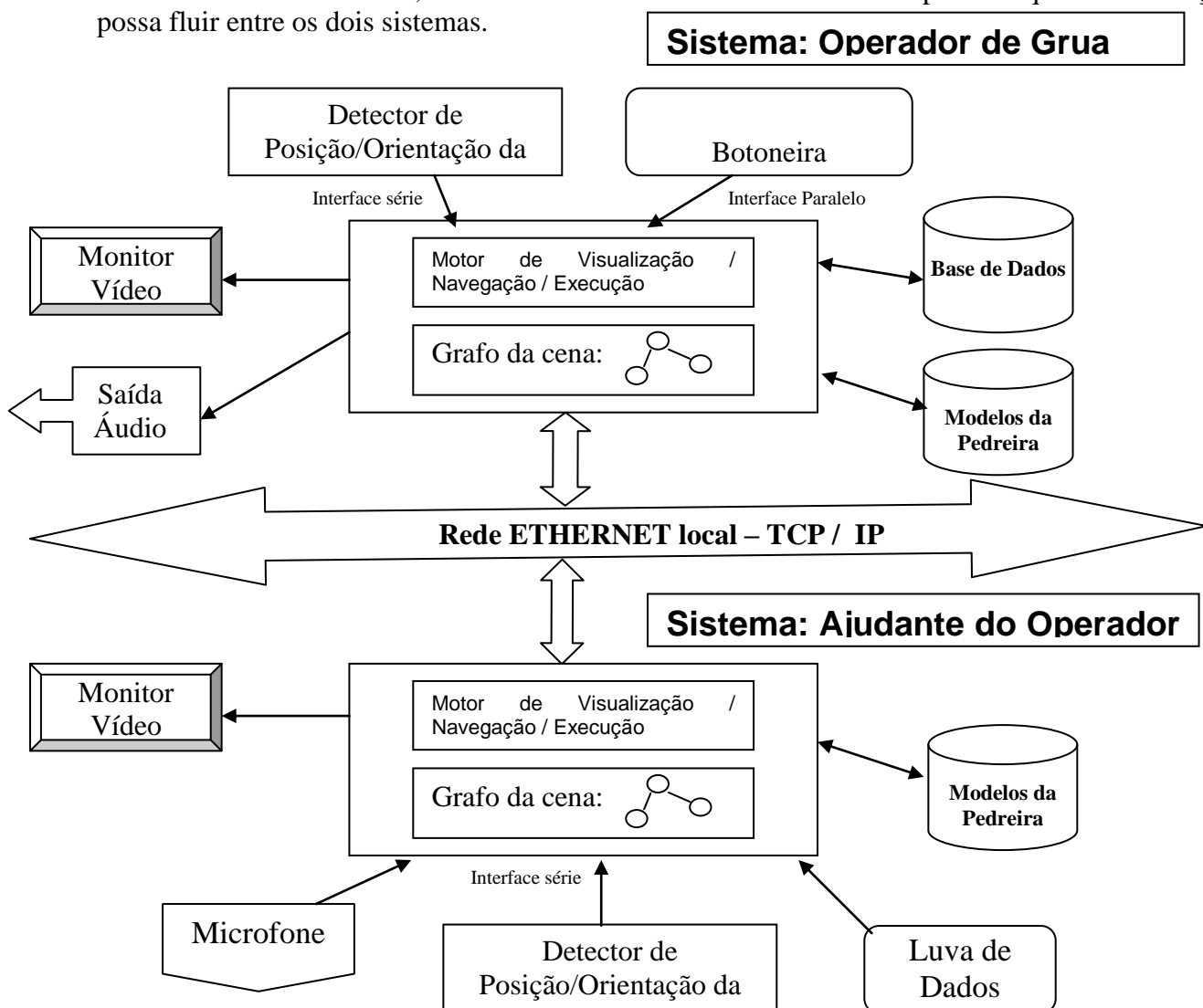
O motor de visualização recebe os dados da descrição tridimensional do ambiente virtual com base em ficheiros no formato VRML (*Virtual Reality Modelling Language*) que, por sua vez, são analisados (*parser*), mapeados e carregados para um grafo de objectos java3D, que através de um processo contínuo de *rendering* e com base nas entradas do sistema, sintetiza as imagens e sons apropriados.

A utilização do simulador por parte dos formandos permitiu também definir um modelo do processo de ensino/aprendizagem, baseado num conjunto de pressupostos pedagógicos, previamente identificados.

## ARQUITECTURA DO SISTEMA

Após o sistema ter sido analisado, especificado e projectado, foi possível descrever conceptualmente a sua arquitectura, decomposta em vários componentes, interligados entre si, e cada um deles executando um papel específico. Pode-se ver pela **Figura 4**, a arquitectura que foi projectada, e verificar toda a panóplia de dispositivos físicos e de interfaces que o sistema apresenta.

Pode verificar-se pela arquitectura geral do SimGrua, que o sistema possui dois sub-sistemas, o do operador de grua e o do ajudante do operador de grua. O interface entre esses dois sistemas é uma rede local, baseada no modelo TCP/IP. Esta rede permite que a informação possa fluir entre os dois sistemas.



**Figura 4** – Arquitectura geral do sistema

Assim, o sistema do ajudante do operador de grua envia para o outro sistema os dados referentes à sua linguagem gestual (proveniente da luva de dados) e os dados áudio, gerados pelos avisos sonoros, adquiridos por um microfone. Por sua vez, o sistema do operador de grua envia para o outro sistema, os dados actualizados, referentes às alterações no estado dos seus objectos, no grafo da cena, que podem ter repercussões no estado global de visualização do mundo. Estes requisitos são implementados utilizando a tecnologia de programação distribuída, que permite que um objecto local possa reproduzir o estado de um objecto remoto, a funcionar num outro sistema de uma rede informática.

O sistema do operador de grua carrega no seu grafo da cena os modelos tridimensionais da pedreira, e está ligado a uma base de dados, onde são registadas as acções e os erros de utilização que o operador executa, nas sessões de formação, e onde o formador pode também obter informação sobre o desempenho dos formandos. O sistema do ajudante do operador também carrega localmente os modelos tridimensionais da pedreira, sendo que actualiza imediatamente através da rede, o estado dos objectos que estão relacionados com os objectos remotos do sistema do operador.

O sistema tem que gerir os eventos provocados por vários dispositivos físicos de entrada e saída, como são entre outros a luva de dados, o detector de posição/orientação e a botoneira. A captura de áudio através do microfone e a respectiva reprodução no sistema do operador de grua, com a consequente comunicação via rede, foi projectada mas não foi efectivamente implementada.

## CONCLUSÕES

Verificou-se que as metodologias de desenvolvimento utilizadas constituíram um elemento de elevação da qualidade do processo e do produto final. Por outro lado, as técnicas e dispositivos de interacção utilizados demonstraram estar adaptadas às suas funções e permitiram aos seus utilizadores um relacionamento mais natural e intuitivo com o sistema. Após terem sido realizados testes de usabilidade com suporte em inquéritos, verificou-se que o nível de satisfação dos seus utilizadores é positivo, bem como é o nível de envolvimento dos utilizadores nas tarefas de operação da grua, utilizando o simulador.

No entanto, ainda é necessário efectuar outro tipo de testes, que permitam aferir os resultados da exploração pedagógica do simulador, verificando a sua eficácia em comparação com o modelo tradicional de ensino. Por outro lado, pode ser melhorado o modelo matemático do funcionamento da grua e de certos fenómenos do ambiente envolvente de forma a conferir um maior realismo ao simulador. Outro aspecto, que pode ser ainda desenvolvido, prende-se com a integração no sistema de um capacete de realidade virtual, com o recurso a óculos estereoscópicos, permitindo desta forma um ambiente mais imersivo aos seus utilizadores.



**Figura 5** - Ambiente de utilização no mundo real

## **Referências**

- [1] Bishop, G. Et al. - Research Directions in Virtual Environments, Computer graphics - ACM, 26(3):153-177, Aug. 1992
- [2] [Bowman99] Bowman, D., “Interaction techniques for common tasks in immersive virtual environments”, thesis presented for the degree of Doctor of Computer Science in Georgia Institute of Technology ,1999